



全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

数控车床 编程与加工 (广数系统)

◎ 王泉国 王小玲 主编

Shukong Chechuang Biancheng Yu Jiagong



免费下载

www.cmpedu.com



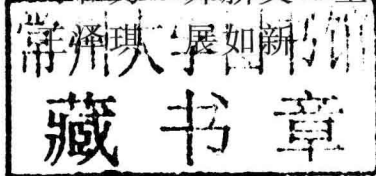
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国技工院校“十二五”系列规划教材

中国机械工业教育协会推荐教材

数控车床编程与加工 (广数系统)

主 编	王泉国	王小玲				
副主编	赵金凤	陈秋霞	钟祥爱			
参 编	张 霞	相付阳	闫庆泉	李志刚	吴兴辉	
	陈 建	马和力	井新文	王振宝	吴瑞莉	
	崔秀芹	袁 齐				
审 稿						



机械工业出版社

本书是基于 GSK980T 数控系统,采用“任务驱动”的教学模式编写的。本书共分为七个教学单元,主要介绍了数控车床的种类、特点、操作方法以及轴类零件、圆锥和圆弧面零件、套类零件、槽类零件、螺纹类零件、非圆曲线零件、综合零件的编程与加工。

本书可作为技工学校、职业院校数控技术专业教材,也可供有关技术人员、数控机床操作人员学习、参考和培训使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床编程与加工:广数系统/王泉国,王小玲主编. —北京:机械工业出版社,2012.8

全国技工院校“十二五”系列规划教材

ISBN 978-7-111-38937-8

I. ①数… II. ①王…②王… III. ①数控机床-车床-程序设计-技工学校-教材②数控机床-车床-加工工艺-技工学校-教材
IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 169003 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王晓洁 王华庆 责任编辑:王晓洁 版式设计:霍永明

责任校对:张媛 封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 15.75 印张 · 385 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38937-8

定价:33.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

全国技工院校“十二五”系列规划教材 编审委员会

顾问：郝广发

主任：陈晓明 李 奇 季连海

副主任：（按姓氏笔画排序）

丁建庆	王 臣	刘启中	刘亚琴	刘治伟	李长江
李京平	李俊玲	李晓庆	李晓毅	佟 伟	沈炳生
陈建文	徐美刚	黄 志	章振周	董 宁	景平利
曾 剑	魏 葳				

委员：（按姓氏笔画排序）

于新秋	王 军	王 珂	王小波	王占林	王良优
王志珍	王栋玉	王洪章	王惠民	方 斌	孔令刚
白 鹏	乔本新	朱 泉	许红平	汤建江	刘 军
刘大力	刘永祥	刘志怀	毕晓峰	李 华	李成飞
李成延	李志刚	李国诚	吴 岭	何立辉	汪哲能
宋燕琴	陈光华	陈志军	张 迎	张卫军	张廷彩
张敬柱	林仕发	孟广斌	孟利华	荆宏智	姜方辉
贾维亮	袁 红	阎新波	展同军	黄 樱	黄锋章
董旭梅	谢蔚明	雷自南	鲍 伟	潘有崇	薛 军

总策划：李俊玲 张敬柱 荆宏智



序

“十二五”期间，加速转变生产方式，调整产业结构，将是我国国民经济和社会发展的重中之重。而要完成这种转变和调整，就必须有一大批高素质的技能型人才作为后盾。根据《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》的要求，至2020年，我国高技能人才占技能劳动者的比例将由2008年的24.4%上升到28%（目前一些发达国家的这个比例已达到40%）。可以预见，作为高技能人才培养重要组成部分的高级技工教育，在未来的10年必将会迎来一个高速发展的黄金期。近几年来，各职业院校都在积极开展高级工培养的试点工作，并取得了较好的效果。但由于起步较晚，课程体系、教学模式都还有待完善与提高，教材建设也相对滞后，至今还没有一套适合高级技工教育快速发展需要的成体系、高质量的教材。即使一些专业（工种）有高级工教材也不是很完善，或是内容陈旧、实用性不强，或是形式单一、无法突出高技能人才培养的特色，更没有形成合理的体系。因此，开发一套体系完整、特色鲜明、适合理论实践一体化教学、反映企业最新技术与工艺的高级工教材，就成为高级技工教育亟待解决的课题。

鉴于高级技工教材短缺的现状，机械工业出版社与中国机械工业教育协会从2010年10月开始，组织相关人员，采用走访、问卷调查、座谈等方式，对全国有代表性的机电行业企业、部分省市的职业院校进行了历时6个月的深入调研。对目前企业对高级工的知识、技能要求，各学校高级工教育教学现状、教学和课程改革情况以及对教材的需求等有了比较清晰的认识。在此基础上，他们紧紧依托行业优势，以为企业输送满足其岗位需求的合格人才为最终目标，组织了行业和技能教育方面的专家精心规划了教材书目，对编写内容、编写模式等进行了深入探讨，形成了本系列教材的基本编写框架。为保证教材的编写质量、编写队伍的专业性和权威性，2011年5月，他们面向全国技工院校公开征稿，共收到来自全国22个省（直辖市）的110多所学校的600多份申报材料。在组织专家对作者及教材编写大纲进行了严格的评审后，决定首批启动编写机械加工制造类专业、电工电子类专业、汽车检测与维修专业、计算机技术相关专业教材以及部分公共基础课教材等，共计80余种。

本系列教材的编写指导思想明确，坚持以达到国家职业技能鉴定标准和就业能力为目标，以各专业的工作内容为主线，以工作任务为引领，由浅入深，循序渐进，精简理论，突出核心技能与实操能力，使理论与实践融为一体，充分体现“教、学、做合一”的教学思想，致力于构建符合当前教学改革方向的，以培养应用型、技术型、创新型人才为目标的教材体系。

本系列教材重点突出了如下三个特色：一是“新”字当头，即体系新、模式新、内容

新。体系新是把教材以学科体系为主转变为以专业技术体系为主；模式新是把教材传统章节模式转变为以工作过程的项目为主；内容新是教材充分反映了新材料、新工艺、新技术、新方法。二是注重科学性。教材从体系、模式到内容符合教学规律，符合国内外制造技术水平实际情况。在具体任务和实例的选取上，突出先进性、实用性和典型性，便于组织教学，以提高学生的学习效率。三是体现普适性。由于当前高级工生源既有中职毕业生，又有高中生，各自学制也不同，还要考虑到在职人群，教材内容安排上尽量照顾到了不同的求学者，适用面比较广泛。

此外，本系列教材还配备了电子教学课件，以及相应的习题集，实验、实习教程，现场操作视频等，初步实现教材的立体化。

我相信，本系列教材的出版，对深化职业技术教育改革，提高高级工培养的质量，都会起到积极的作用。在此，我谨向各位作者和所在单位及为这套教材出力的学者表示衷心的感谢。

原机械工业部教育司副司长
中国机械工业教育协会高级顾问

郝广发



本教材是以教育部数控技能型紧缺人才培养培训方案为指导思想，坚持“以职业标准为依据，以企业需求为导向，以提高职业能力为核心”的理念，根据《国家职业技能标准 数控车床操作工》的要求，结合技工学校、职业技术学院数控技术专业对学生的培养目标及企业需求编写的。本教材具有以下特色：

1) 教材以行动为导向，以工学结合人才培养模式的改革与实践为基础，按照典型性、对知识和能力的覆盖性、可行性原则，遵循认知规律与能力形成规律设计教学载体，梳理理论知识，明确学习内容，使学生在职业情境中做到“学中做、做中学”。

2) 打破传统教材按章节划分理论知识的方法，将理论知识按照相应教学载体进行重构，并对知识内容以不同方式进行层面划分，如任务描述、任务分析、相关知识、任务实施、检查评议、拓展知识等，并穿插了“问题与思考”、“注意事项”、“教你一招”、“师傅说现场”等环节，丰富了知识面，突出了重要学习内容，使理论与实践有机地结合为一体。通过任务的完成，引发学生积极思考，以提高学生分析问题、解决问题的能力，与传统的理论灌输有着本质的区别。

3) 教材体现了以学生为主，以教师为辅的教学思路。通过多媒体、仿真、实训一体化的教学，引导学生自学、资料查阅、相互交流，老师起启发、引导和指导作用。

4) 教材体现了以学习过程进行教学评价，强调学生的过程成绩，打破了期末考试定成绩的传统。

5) 教材内容充分体现新知识、新技术、新工艺和新方法，具有前瞻性。

本书在体系上力求新颖，文字力求准确，选图力求简练；在内容取舍与深度把握上，既注重突出重点，又注重培养学生的编程技术应用能力与操作技能。

本书由德州职业技术学院王泉国、广州市技师学院王小玲任主编；德州职业技术学院赵金凤、陈秋霞，广州市技师学院钟祥爱任副主编；德州职业技术学院张霞、相付阳、闫庆泉、李志刚、吴兴辉、陈建、马和力、井新文、王振宝、吴瑞莉、崔秀芹、王泽琪、展如新参加编写。王泉国、赵金凤对全书进行了统稿。德州职业技术学院副教授袁齐对全书进行了仔细审阅，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

在本教材的编写过程中，我们还得到了德州方向机厂工程师杨光芒、高级技师张红及德州亚太集团工程师刘宝君等同志的指导与帮助，在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在欠妥或疏漏之处，恳请广大读者批评、指正。

编者

机械工业出版社

教师服务信息表

尊敬的老师：

您好！感谢您多年来对机械工业出版社的支持与厚爱！为了进一步提高我社教材的出版质量，更好地为职业教育的发展服务，欢迎您对我社的教材多提宝贵意见和建议。另外，如果您在教学中选用了《数控车床编程与加工（广数系统）》（王泉国 王小玲 主编）一书，我们将为您免费提供与本书配套的电子课件。

一、基本信息

姓名：_____ 性别：_____ 职称：_____ 职务：_____
学校：_____ 系部：_____
地址：_____ 邮编：_____
任教课程：_____ 电话：_____ (O) 手机：_____
电子邮件：_____ qq：_____ msn：_____

二、您对本书的意见及建议

（欢迎您指出本书的疏误之处）

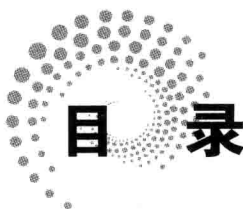
三、您近期的著书计划

请与我们联系：

100037 机械工业出版社·技能教育分社 王晓洁 王华庆 收
Tel: 010 - 88379078/88379743

Fax: 010 - 68329397

E-mail: wxj_66@126.com yuxunyueye@163.com



序 前言

单元 1 轴类零件的编程与加工	1
任务 1 认识数控车床	1
任务 2 填写数控加工工艺文件	8
任务 3 操作数控车床	23
任务 4 加工销轴	42
单元 2 圆锥和圆弧面零件的编程与加工	56
任务 1 加工模芯	56
任务 2 加工轴头	72
单元 3 套类零件的编程与加工	85
任务 1 加工阶台孔套	85
任务 2 加工薄壁套	95
单元 4 槽类零件的编程与加工	104
任务 1 加工带轮	104
任务 2 加工多槽轴	117
任务 3 加工送料轴套	133
单元 5 螺纹类零件的编程与加工	148
任务 1 加工心轴	148
任务 2 加工轴套	160
单元 6 非圆曲线零件的编程与加工	171
任务 1 加工椭圆轴	171
任务 2 加工抛物线轴	186

单元 7 综合零件的编程与加工	194
任务 1 加工球头轴	194
任务 2 加工把手的编程与加工	206
任务 3 加工三零件装配体	220
参考文献	240

单元1 轴类零件的编程与加工

知识目标：

1. 熟悉数控车床操作面板各按钮的含义和作用。
2. 能分析和制订零件的加工工艺。
3. 掌握所学数控编程指令字的含义，正确编制零件的加工程序。

技能目标：

1. 熟练掌握数控车床的操作方法。
2. 熟练掌握数控程序的输入与编辑。
3. 学会选择工件装夹方法、刀具及切削用量。
4. 能在数控机床上完成零件的加工。

任务1 认识数控车床



任务描述

数控车床是数控机床中结构较为简单，用途十分广泛的机床之一。它能加工各种回转体零件。下面我们就来认识一下数控车床，并学习相关的安全文明生产等方面的知识。



任务分析

本任务学习时先通过观看多媒体课件了解数控机床的结构及性能，然后进行现场参观，对数控机床有一定的感性认识，为下一步的学习奠定基础，在轻松愉快的氛围中掌握所学内容。



相关知识

1. 数控车床的组成

数控车床一般由数控装置、输入/输出设备、伺服系统、驱动装置、可编程控制器 PLC 及电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量装置组成。

(1) 数控装置 数控装置是数控机床的核心，主要包括微处理器 CPU、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与数控系统的其他组成部分联系的接口等。接受控制介质上的数字化信息，经过控制软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令，控

制机床的各个部分，进行规定的、有序的运动。

(2) 输入/输出设备 输入装置的作用是将控制介质（将零件加工信息传送到数控装置去的程序载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。如移动硬盘、U 盘、磁盘等，如图 1-1a、1-1b、1-1c 所示。输出装置的作用是将数控程序、代码或数据进行打印或显示等。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示信息丰富，有些还能显示图形。

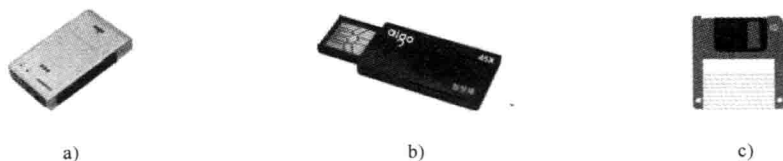


图 1-1 控制介质

a) 移动硬盘 b) U 盘 c) 磁盘

(3) 伺服系统 伺服单元是数控装置和机床本体的联系环节，它接收数控装置的指令信息，并按指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移。它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机，如图 1-2 所示。

(4) 驱动装置 驱动装置把经放大的指令信号变为机械运动，如图 1-3 所示，通过简单的机械连接部件驱动机床，使工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，最后加工出图样所要求的零件。

(5) 辅助控制装置 辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。它的主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择和交换、辅助动作等指令信息，经过必要的编译、逻辑判断、功率放大后，直接驱动相应的电气、液压和机械部件，以完成各种规定的动作。广泛使用的是可编程控制器 PLC，如图 1-4 所示。可编程控制器的特点为：响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改程序快捷方便，并可直接驱动机床电器。

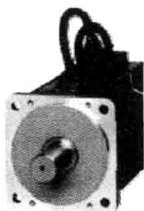


图 1-2 伺服电动机

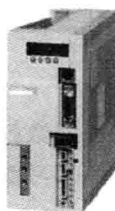


图 1-3 驱动装置

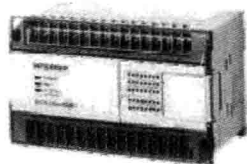


图 1-4 可编程控制器 PLC

(6) 检测装置 检测装置把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置，供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上，按有无检测装置，数控系统可分为开环系统和闭环系统，而按测量装置安装的位置不同可分为全闭环数控系统与半闭环数控系统。检测装置的作用是检测数控机床各个坐标轴的实际位移量，经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量与设定值进行比较，控制伺服机构按指令设定值运动。常用的检测元

件有：直线光栅、光电编码器、圆光栅、绝对编码尺等，如图 1-5 所示。



图 1-5 常用检测元件

a) 直线光栅 b) 光电编码器

(7) 机床本体 机床本体是数控机床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分。包括主运动部件、进给运动执行部件（如滑板及其传动部件）和床身等。

2. 数控车床的分类

数控车床的品种规格繁多，从不同的技术或经济指标出发，可以对数控车床进行各种不同的分类。根据数控车床的功能和组成，一般可以按下面几种原则进行分类。

(1) 按进给伺服系统控制方式分类

1) 开环控制系统。这类机床所采用的开环伺服系统又称为步进电动机驱动系统，它的主要特征是该系统内没有位置检测反馈装置。这类机床的控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电动机本身，控制精度不高。但其结构简单，反应迅速，工作稳定、可靠，调试、维修方便，如图 1-6 所示。

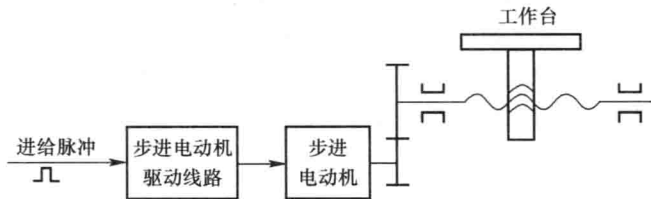


图 1-6 开环控制系统

2) 闭环控制系统。这类数控机床所采用的伺服系统的特征是该系统内设有以位置检测元件为主的检测反馈装置。

① 半闭环控制系统。它在机床的控制过程中形成部分位置随动控制环路，不把机械传动装置等部分包括在内，故称该控制环路为“半闭环”。这种控制系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置，而是测量伺服电动机的转角，经过推算间接测量工作台位移，不能补偿数控机床传动链零件的误差，如图 1-7 所示。

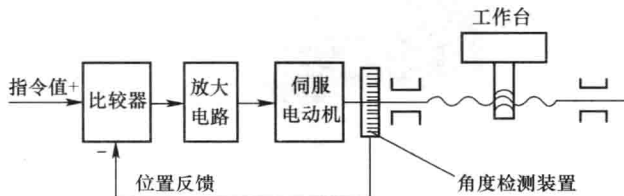


图 1-7 半闭环控制系统

② 全闭环控制系统。这类车床的控制精度很高，所采用的全闭环伺服系统在车床的控制过程中，形成全部位置随动控制环路，自动检测并补偿所有的位移误差。但结构复杂，价格高。这种控制系统绝大多数采用伺服电动机，有位置测量元件和位置比较电路，如图 1-8 所示。

(2) 按功能分类

1) 经济型数控车床。一般指对普通车床的进给系统进行改造后形成的简易型数控车床。采用步进电动机驱动的开环伺服系统，控制系统采用单片机或单板机。结构简单、价格低廉、自动化程度和功能都比较差，车削加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

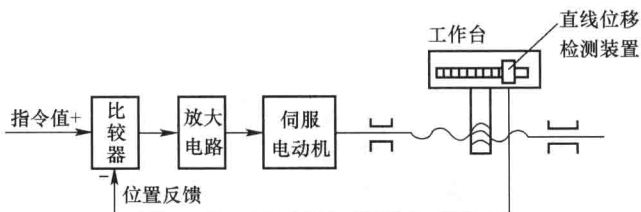


图 1-8 全闭环控制系统

2) 普通数控车床。根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床，数控系统功能强，自动化程度和加工精度也比较高，适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴，即 X 轴和 Z 轴。

3) 车削加工中心。车削加工中心是在普通数控车床的基础上，增加了 C 轴和动力刀具系统，更高级的数控车床还带有刀库。可以控制 X 、 Z 和 C 三个运动坐标轴，联动运动坐标轴可以是 $(X、Z)$ 、 $(X、C)$ 或 $(Z、C)$ 。由于增加了 C 轴和动力刀具系统，车削加工中心的功能大大增强了，除可以进行一般车削加工外还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削加工等。

(3) 按主轴的配置形式分类

1) 卧式数控车床。卧式数控车床是指主轴轴线处于水平位置的车床。又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床，倾斜导轨结构的车床具有较大刚性，且易于排除切屑，如图 1-9 所示。

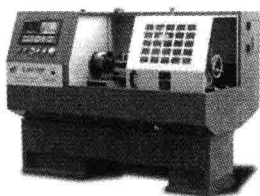


图 1-9 卧式数控车床

2) 立式数控车床。立式数控车床是指主轴轴线垂直于水平面的车床，有一个直径较大的圆形工作台，主要用来加工径向尺寸较大、轴向尺寸较小的大型复杂零件，如图 1-10 所示。



图 1-10 立式数控车床

3. 数控车床的用途与特点

(1) 数控车床的用途 车削加工是工件旋转作主运动和车刀作进给运动的切削加工方法。其主要加工对象是回转体零件。基本的车削加工内容有车外圆、车端面、切断和车槽、钻孔、车孔、车螺纹、车圆锥面、车圆弧面、车非圆曲面等。

(2) 数控车床的特点

1) 适应性强。当改变加工零件时，数控车床只需更换零件的加工程序，不必用凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备，且可采用成组技术的成套夹具。因此，生产准备周期短，有利于机械产品的迅速更新换代。

2) 适合加工复杂型面的零件。由于数控车床能实现两轴或两轴以上的联动，所以能完

成复杂型面的加工，特别是可用于加工用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件。

3) 加工精度高，质量稳定。数控车床有较高的加工精度，一般在 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 之间。数控车床的加工精度不受零件复杂程度的影响，车床传动链的反向齿轮间隙和丝杠的螺距误差等都可以通过数控装置自动进行补偿，其定位精度比较高，同时还可以利用数控软件进行精度校正和补偿。数控车床运行数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，这就保证了零件加工质量的稳定性。

4) 生产效率高。在数控车床上可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。还有自动调整、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短，而且一般不需工序间的检验与测量，所以，比普通车床的生产率高 $3 \sim 4$ 倍，甚至更高。

数控车床的主轴转速及进给范围都比普通车床大。目前数控车床的最高进给速度可达 $100\text{m}/\text{min}$ 以上。数控车床的加工时间利用率高达 90% ，而普通车床仅为 $30\% \sim 50\%$ 。

5) 工序集中，一机多用。数控车床特别是车削中心，在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工工序，一台数控车床可以代替数台普通车床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省车间的占地面积，带来较高的经济效益。

6) 减轻劳动强度，改善劳动条件。在输入程序并启动后，数控车床就自动地连续加工，直至零件加工完毕。这样就简化了人工操作，使劳动强度大大降低。

7) 价格较高且调试和维修较复杂。数控车床是一种技术含量和价格较高的设备，而且要求具有较高技术水平的人员来操作和维修。



任务准备

多媒体设备、课件、数控机床。



任务实施

1. 教师利用多媒体课件讲解重点知识

- 1) 车床的组成及种类。
- 2) 车床的用途及特点。

2. 教师带领学生数控车间参观，进行互动学习

- 1) 学生分组，对数控车床相关知识进行知识竞答。
- 2) 教师针对车床实物，对知识点进行小组抢答或点名回答。



检查评议

评分标准见表 1-1。

表 1-1 评分标准

项目与序号		检查内容	配分	得分	
项目	序号			点评	得分
知识掌握 (40 分)	1	基本知识(习题)	40		

(续)

项目与序号		检查内容	配分	得分	
项目	序号			点评	得分
师生互动 (40 分)	2	教师指定学生	15		
	3	教师提出问题	15		
	4	小组互动	10		
团队协作 (20 分)	5	解决问题、团结互助	20		



扩展知识

先进数控加工技术

1. 先进数控加工技术——高速加工

高速加工技术是指采用特殊材料的刀具或工艺，通过极大地提高切削速度和进给速度，来提高被加工工件的切除率，同时，加工精度和质量也显著提高的新型加工技术。以切削速度和进给速度界定：高速加工的切削速度和进给速度应为普通切削加工速度的 5~10 倍。以主轴转速界定：高速加工的主轴转速应大于或等于 10000r/min。

(1) 高速加工的技术特点

1) 加工效率高。高速加工的进给率较普通切削加工提高 5~10 倍，材料切除率提高 3~6 倍。

2) 切削力小。高速加工的切削力较常规切削加工至少降低 30%，径向力（背向力）降低得更为明显。这样，加工过程中，对加工件的冲击力更小，不易引起工件受力变形。因此，特别适用于薄壁零件和细长工件的加工。

3) 切削热小。在高速加工中，95% 以上的切削热被切屑带走，因此，工件积热少、温升低，特别适用于熔点低、易氧化、易热变形的零件。

4) 加工精度高。高速加工中，刀具的偏振频率远离工艺系统的固有频率，不易产生振动；另外切削力小，热变形小，残余应力小，易于保证加工精度和表面质量。

5) 工序集约化。高速加工可获得更高的加工精度和更低的表面粗糙度，并在一定条件下，可对常规难加工的硬表面进行加工，从而使工序集约化，这点对于模具的加工具有特殊意义。

(2) 高速加工技术的发展趋势 作为面向 21 世纪的一项先进制造技术——高速加工，将继续克服当前存在的某些技术障碍，在以下几个方面将会得到更快的发展。

1) 扩大材料加工范围。从铝合金加工扩大到钢材的高速加工，解决钢件高速加工存在的技术难题。

2) 用干式切削替代湿式切削。解决高速加工使用大量切削液造成对自然环境的污染问题，进一步研究开发适用于干式切削的新型刀具材料，研究开发干式切削加工中心。

3) 进一步改善高速机床的驱动和控制技术，开发快速的 CAD/CAM 系统和实用的编程软件，以满足实际生产的需要。

4) 研究高速机床的安全防护和远程监控技术。确保高速加工的生产安全。

5) 改善研究和试验条件,继续深入开发高速切削机理的理论研究、仿真研究和虚拟研究,进一步弄清高速切削过程的物理本质和变化规律,建立高速切削数据库,指导用户正确使用已有高速机床,充分发挥高速加工中心的效能。

2. 数控加工技术的新发展

(1) 刀具技术的发展 刀具技术是数控加工的关键技术之一,也是限制难加工材料加工效率的一个技术瓶颈。随着刀具技术的进步,刀具材料和刀具结构不断改进,刀具种类越来越多,如何合理选择刀具及切削参数是提高数控加工效率的核心所在。

在铝合金材料加工方面,高速切削技术已经得到全面应用,在高速粗加工过程中大量应用可转位高速立铣刀,在大功率高速机床上可达到 $6000\text{cm}^3/\text{min}$ 的金属去除率,加工成本也可得到有效的控制;整体硬质合金刀具是当前铝合金高速加工的主要刀具,主要用于铝合金零件的精加工或窄槽的粗、精加工,可获得好的表面质量并具有较长的刀具寿命。而陶瓷、金刚石及立方氮化硼等超硬刀具具有极高的耐磨性,几乎不受切削速度的限制,切削抗力小,没有积屑瘤,能够最大限度地发挥高速机床的加工效率,非常适合于铝合金的高速加工,将逐步成为铝合金高速加工的首选刀具。

在钛合金材料加工方面,由于钛合金的切削加工性较差(其相对切削性在 $0.15 \sim 0.25$),采用传统加工方式时切削速度一般不超过 $50\text{m}/\text{min}$,粗加工金属切除率一般不超过 $40\text{cm}^3/\text{min}$,精加工金属切除率不超过 $10\text{cm}^3/\text{min}$ 。目前,国内一些航空制造企业已经开始探索并应用钛合金高效加工方法:粗加工采用可转位玉米铣刀实现大切深、小进给的强力切削,该刀具有效避免了大悬伸刀具在加工过程中的振颤现象,比普通圆柱立铣刀加工效率更高,精加工前先使用插铣刀具对圆角进行加工,使精加工余量均匀,精加工过程中采用 PVD 涂层硬质合金刀具进行小切宽、大切深的高速铣削(切削速度达到 $170\text{m}/\text{min}$)方式,使精加工时间缩短 60% 以上。

(2) 工装技术的发展 目前,国内大型航空结构件的装夹方式较为单一,铝合金结构件主要采用预留工艺耳片,并使用螺钉压紧或真空吸附;钛合金等难加工材料主要采用压板压紧;蜂窝芯材料则主要采用双面胶带粘接固定。而数控发达国家已大量使用带气动、液压及控制系统的自动夹具。采用数控多点自动调节、真空吸附或机械夹头的柔性夹具,可实现对不同形状的大型结构件在机床上的柔性、快速定位和装夹,已成为数控工装设计制造的发展方向,是提高数控加工效率的另一关键技术。这项技术在加工薄壁结构件、大型复材结构件及蒙皮类零件时的优势尤为明显。

(3) 工艺设计及仿真技术 工艺编程人员充分利用各种工艺资源进行零件工艺及数控程序编制的全过程,即为数控工艺设计,它直接影响零件生产计划及现场加工的质量,是整个数控生产至关重要的环节。航空制造业所面临的通常都是多品种、小批量的生产任务,新机研制任务繁重,数控工艺设计已成为制约数控生产新的“瓶颈”。国内航空企业纷纷展开高效编程技术研究,其中成飞公司与国内相关院校合作开发了基于三维特征的快速编程系统,实现了对飞机结构件的快速编程。

数控加工过程的仿真是虚拟制造技术的核心技术之一,主要分为几何仿真和物理仿真。目前国内航空制造业进行的数控加工仿真还只停留在几何仿真的层面上,其作用主要是检查数控程序刀具轨迹的正确性和几何干涉碰撞问题,而要实现更精确的仿真则必须对加工过程中的物理现象进行研究。国外在物理仿真技术研究方面起步较早,已开发出相应的仿真软